بسم الله الرحمن الرحيم

تلوث الهواء: بيئة 311
Air Pollution ENS 311

د. هشام عبد الله الجيلاني
قسم العلوم البيئية
كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة

التلوث البيئي

المقدمة (Intrduciton):

منذ ظهـور الإنسـان على سـطح الأرض و التطـور البشـري لم يتوقف فقد استطاع الإنسان أن يتدرج بنجـاح في مـدارج التطـور المختلفة كما أن تمكنه من السيطرة على الطاقة أحـدث تغيـيراً في وجه كـوكب الأرض و سـبر أغـوار البحـار و المحيطـات و الشروع في غزو الفضاء بل و حتى اختراق أسرار المادة بعبقرية في العلوم البيولوجية.

إلا أن تأثير نشاط الإنسان أصبح اليوم من الضخامة و التعقيد بحيث أصبح يخل بالتوازن الدقيق للبيئة و ظهرت مشاكل التلوث البيئي على نطاق و اسع الأمر الذي يؤدي إلى تهديد الحياة على الأرض و في البحار و الأنهار و المحيطات و الأجواء و يمزق طبقة الأوزون التي تحمي الأرض من الأشعة الضارة القادمة من الشمس (المنهل 1995م).

فالتلوث البيئي هو أحد مصادر القتل و الدمار و الذي ظهر بشكل واضح و ملموس في قلب المدن الصناعية بالدول المتقدمة فأصبح كالغصة في الحلق يحبس عنها رونق الحياة و يشوه جمال الطبيعة.

و الدول العربية ليست بمنأى عن هذه المشكلة بل أصبحت تعاني من مشاكل البيئة المختلفة فأخذت تهتم بهذه القضية و أن كان ذلك لم يكن منذ زمن بعيد إذ كانت هذه الدول تسعي إلى النمو الاقتصادي و الاجتماعي و تنظر إلى قضايا البيئة بأنها هامشية لم تبلغ حداً يثير قلقها و يأخذ باهتماماتها في حين كانت المشاكل البيئية شاغل الدول الصناعية و ذلك للآثار السلبية للنشاطات الصناعية و التقنية على البيئة التي أصبحت عرضة للخطر و الذي ينعكس على صحة الإنسان و راحته. فقد واجهت الدول الصناعية الكثير من الكوارث البيئية بسبب النشاطات الصناعية و غيرها (أمين 1984م).

و مع بداية الخطط التنموية المختلفة للدول العربية و مع نمو المدن الصغيرة و القرى و تمركز الصناعة في المدن وما يتبعه من نشاط تجاري و اجتماعي و علمي و زيادة الهجرة إلى المدن بدأت مظاهر الحياة بالاختلاف في جميع الأوساط التعليمية و الصحية و الزراعية و الصناعية و المواصلات و الاتصالات و الذي قاد إلى العديد من المشاكل الاجتماعية و الصحية و تحولت البيئة

في كثير من المدن الكبرى و خاصة الصناعية إلى بيئة ملوثة بأنواع مختلفة من التلوث. حينئذ أصبحت الدول العربية مدعوة إلى إعادة النظر في كيفية التعامل مع البيئة وإلى التخطيط السليم لاستغلال موردها و إلى الإمعان في العواقب المحتملة لاستغلال مواردها الطبيعية بطريقة غير علمية كذلك دراسة الأخطار البيئية الناتجة من الصناعة و احتراق الوقود و مخلفات الصرف الصحي و النفايات بأنواعها المختلفة و الاستعمال المتزايد للمبيدات الكيميائية و الملوثات الأخرى. كذلك هذه الدول مدعوة للتفكير في مصير المحيط الحيوي أي طبقة الهواء و الماء و الطبقة السطحية للقشرة الأرضية التي تتركز فيها الحياة (العودات و باصهي 1993م).

و إذا أردنا أن نستعرض المشاكل البيئية التي تواجه الدول العربية نحتاج إلى بعض التأصيل العلمي لتعريف علم البيئة و الذي عرف بأنه "تطبيق المعرفة لعدد من الحقول العلمية لدراسة و حماية البيئة" كما أنه يرتكز على ثلاثة محاور أساسية:
أولاً: حماية الإنسان من تأثيرات العوامل البيئية الضارة.
ثانياً: حماية البيئة على المستوى المحلي و العالمي من فعاليات الإنسان الضارة.
و نجد هنا أن الإنسان هو المجني عليه كما أنه هو الجاني و كما يقول الشاعر "فيك الخصام و أنت الخصم و الحكم"
ثالثاً: إصلاح ما أفسد سواء بفعل الإنسان أو غيره و تحسين نوعية البيئة لما فيه سلامة الإنسان و سعادته.
و يلاحظ هنا أن علم البيئة يرتبط بالتلوث و الذي يأخذ أشكالاً مختلفة فهناك تلوث الهواء، و تلوث المياه، و التلوث الإشعاعي، و التلوث بالمبيدات، و التلوث الضوضائي Purdom & Anderson 1980) بوردوم و اندرسون 1980م).

و نظراً لتنوع المشكلات البيئية المعاصرة من حيث أسبابها و نتائجها تعد علوم البيئة من العلوم المتداخلة التي تتخطى الحدود التقليدية التي تفصل بين العلوم الطبيعية و الإنسانية و التطبيقية بفروعها التقليدية كالعلوم الحياتية و الكيميائية و الجيولوجية و الجغرافية و الاقتصادية و الهندسية بحيث تسد الفجوات بين تلك العلوم و تكون حلقة الوصل بينها.

و التلـوث Pollution يعـني آي تغـير بسـبب المـواد الكيميائية أو العوامل الطبيعية أو الحيوية الأخرى في الكفاءة الطبيعية للبيئة.
و يمكن تعريفه بالتغيير في المكونات الطبيعية للبيئة بسبب التفاعلات الكيميائية أو الفيزيائية أو الحيوية.
وقد يكون التلوث طبيعيا ناتجا عن الكوارث الطبيعية من بــراكين و عواصف و فيضانات أو تلوث صناعي بسبب نشـاطات الإنسـان المختلفة (السويدان 1997م).

إذا فإن جميع دول العالم و بدرجات متفاوتة تواجه العديد من مشاكل التلوث مثل:

- 0- تلوث الهواء.
- - تلوث المياه.
- - المخلفات الصلبة و السائلة.
- - التلوث الضوضائي.
- - التلوث الإشعاعي.
- - المبيدات.
- - وغير ذلك من أنواع التلوث.

تلوث الهواء Air Pollution

لقد عـرف الإنسـان تلـوث الهـواء قـديماً عنـدما كـان يعيش في الكهوف ويشعل النار داخلها. و عـرف عند الفراعنة وفي العـراق بمنطقة بابل وفي أوروبا خاصة إنجلترا.
و يعد تلوث الهواء من أخطر أنواع التلوث لسببين:
الأول: هو محدودية الغلاف الجوي فالغلاف الجوي الذي يحيط بالأرض و الذي يبلغ سمكة بضع عشر كيلومتراً يكاد يكون كقشرة التفاحة إلى التفاحة نفسها لو قارناه بحجم الكرة الأرضية.
الثاني: أن الإنسان يستهلك ما يزيد على 15 كيلو غراماً يومياً من الهواء مقارنة بثلاث كيلو غرامات من الماء و كيلو غرام من الغذاء. و هذه الحاجة المستمرة للهواء تجعل الاختيار أمام الإنسان معدوماً إذ لابد من للإنسان أن يتنفس الهواء المتوفر مهما كانت نوعيته و درجة تلوثه في حين قد يستطيع تجنب شرب الماء الملوث أو أكل الغذاء الفاسد (محمود 1988م).
و لا يعني ذلك إهمال تلوث الماء أو الغذاء بل الحاجة ماسة إلى تجنب كل تلك المشاكل و لكن قصدت بذلك إبراز أهمية دراسة

نوعية الهواء حتى نطمئن على صحتنا و على صحة أبنائنا خاصة إذا عرفنا أن أكثر الناس تأثراً بالتلوث هم الأطفال.

وقد حدثت كثير من الكوارث البيئية بسبب تلوث الهواء والتي راح ضحيتها أعداد كثيرة من الناس. فهناك كارثة حدثت في بلجيكا عام 1930م حيث مرض ومات المئات خلال ثلاثة أيام بسبب تراكم الملوثات في الهواء وفي أمريكا عام 1948م خلال أربعة أيام من تراكم الملوثات مرض ما يزيد عن 14000 شخص. ولكن أشهر حادثة لتلوث الهواء كانت في عام 1952م في مدينة لندن حيث مات ما يقارب 4000 شخص في مدة لا تزيد عن عشرة أيام بسبب تلوث الهواء. وفي عام 1956م تكرر الحدث ومات 1000 شخص.
و في عام 1959م عقد أول مؤتمر عالمي لمناقشة مشكلة تلوث الهواء في مدينة لندن.

تعريف تلوث الهواء Air Pollution Definition

و يعرف تلوث الهواء بأنه "هو وجود مادة أو أكـثر في الغلاف الجـوي الـداخلي (داخل المبـاني) أو الخـارجي (الجو الخــارجي) على شــكل غــاز أو أتربة أو رذاذ أو دخـان أو رائحة أو بخـار بكمية و صـفات و لمـدة زمنية يمكن أن تسبب ضرر للإنسان أو الحيوان أو الممتلكات أو الــتي تســبب التــأثير الســلبي على راحة و ســعادة الإنسان".

ونجد في الغالب أن مشكلة تلوث الهـواء ترتبط بعملية الاحـتراق أو بمعنى آخر أن عملية الاحتراق تؤدي إلى مشكلة تلوث الهواء.

فالمصــادر المختلفة تطلق الكثــير من الغــازات و الجســيمات الضارة إلى الهواء محدثة تغـير في المكونـات الطبيعية و بالتـالي تكون مشكلة تلوث الهـواء و الـتي تنعكس آثارها على الإنسـان و البيئة.

نظام تلوث الهواء (Air Pollution System).

ويقصد بنظـام تلـوث الهـواء هي المحـاور الـتي يرتكز عليها في دراسة المشكلة فنجد أن المشكلة تبـدأ من المصـادر الـتي تبعث بالملوثـات للهـواء ثم بعد ذلك انطلاق هـذه الملوثـات في الهـواء وتأثير الظروف الجوية عليها وهي الظروف الفيزيائية من اتجاهها

وتركيزها كـذلك تـأثير الظـروف الكيميائية وهي التفـاعلات الـتي تحدث في الجو سوءا تفاعلات ضوء كيماوية أو غيرها ثم بعد ذلك المستقبلات لهذه الملوثات أو مصير هذه الملوثـات وهـذه تقودنا إلى التفكير في قضية التحكم في المشـكلة حيث يجب أن يكـون في المصدر. ويمكن تلخيص ذلك في بما يلي:

المصادر ← الجو (الظروف الجوية الفيزيائية والكيميائية)

المستقبلات (إنسان، حيوان، نبات، جماد).

التحكم

مصادر تلوث الهواء **Air Pollution Sources:**

1) المصادر الطبيعية:

وتشمل البراكين، حرائق الغابات، رذاذ البحر، العواصف والرياح التي تثير الأتربة، والتحلل الحيوي والنشاط البكتيري والمستنقعات التفاعلات الضوء كيماوية في طبقة الجو العليا (طبقة الأوزون) والبرق الذي يؤدي إلى تكون أكاسيد النتروجين .

2) المصادر الصناعية أو التي بفعل نشاطات الإنسان المختلفة مثل:

- مداخن الصناعات المختلفة.
- وسائل المواصلات والنقل.
- محطات توليد الطاقة.
- محطات تكرير ومصافي البترول.
- محطات تحلية المياه.
- محارق النفايات.

الوحدات المستخدمة في تلوث الهواء Air Pollution Units.

إذا أردنا أن نقيم مشــكلة تلــوث الهــواء يجب أن يكــون لــدينا المقيــاس أو الوحــدات لقيــاس تركــيز الملوثــات في الهــواء. والوحدات المستخدمة لقياس تركيز الملوثات في الهواء متعـددة فهناك الوحدات الـتي تكـون على شـكل كتلة على حجم (جم/م^3 أو مايكروجرام/م^3) gm m^{-3}.

أو يكون على شكل حجم على حجم وهو ما يعرف بـ جزء في المليون أو جزء في البليون ppm ppb.

كما أن هناك علاقة بين الوحدتين الأساسية وهي كالتالي:

$$\mu\, g\, m^{-3} = \frac{ppm \times MW\ of\ poll. \times 10^3}{24.5}$$

$$ppm = \frac{\mu\, g\, m^{-3} \times 24.5}{MW \times 10^3}$$

علما أن MW هو الوزن الجزيئي للملوث.

وهذه العلاقة تتحقق في ظروف جوية تحت ضغط جوي 1 =p 1 atm. ودرجة حرارة 25م.

معامل الانبعاث Emission Factors

معامل الانبعاث هو كمية الملوثات المنبعثة من استهلاك كمية من الوقود وهو معامل محسوب في ظروف متحكمة لانواع المركبات المختلفة حسب نوع الوقود المستخدم وكميته وظروف التشغيل (من سرعة وحالات المحرك المختلفة) ويكون على شكل جداول. والوحدة المستخدمة لقياس معامل الانبعاث هي كجم/ طن (كتلة/كتلة) للمصادر الثابتة في الغالب، و كجم / 1000كم (كتلة / مسافة) للمصادر المتحركة (المركبات).

جدول 1 بين معامل الانبعاث لبعض الغازات المنبعثة من المركبات وهي الكمية المنبعثة بالجرام عندما تسير المركبة 1000كم.

جدول (1) معامل الانبعاث للملوثات من المركبات.

نوع المركبة	الوحدة	الجسيمات جم / للوحدة	ثاني أكسيد الكبريت جم / للوحدة	أكسيد النتروجين جم / للوحدة	الهيدرو-كربون جم / للوحدة	أول أكسيد الكربون جم / للوحدة
مركبات البنزين	1000 كم	2	0.54	10.3	14.5	377
مركبات الديزل	1000 كم	2.4	19(الكبريت)	11	2.6	43.5

كما أن هناك معامل انبعاث لكل وقود يحرق ولكل صناعة وتكون الوحدة كجم من الغاز أو الملوث لكل طن من المادة الوقود المحترق فمثلا احتراق طن من الزيت ينتج 20.1(نسبة الكبريت) كجم من ثاني أكسيد الكبريت.

الملوثات الأولية Primary Air Pollutants

ويقصد بالملوثـــات الأولية الملوثـــات الـــتي تنبعث من المصـــادر مباشرة إلى الهواء وأهم هذه الملوثات هي:

- 0- أول أكسيد الكربون.
- -- أكاسيد الكبريت.
- -- أكاسيد النيتروجين.
- -- الهايدروكاربونات.
- -- الجسيمات (كالرصاص وغيره).

1- غاز أول أكسيد الكربون Carbon Mono Oxide (CO).

يتكون غاز أول أكسيد الكربون من عملية الاحتراق الغير كاملة داخل محركات السيارات حيث أن أكثر من 75 % من كميته تنبعث إلى الجو من السيارات و هو غاز عديم اللون و الرائحة له أضراره الخطيرة على الإنسان فهو من أشد الغازات الملوثة للهواء سمية.

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

و تكمن سمية هذا الغاز في أنه يتحد مع الهيموجلوبين في الدم بدل من الأوكسجين وبذلك يحرم أنسجة الجسم من الأوكسجين والذي يؤدي إلى تغيرات فسيولوجية ومرضية في جسم الإنسان و الحيوان يمكن ان ينتج عنها الموت. و مما يزيد من خطورة هذا الغاز أن سرعة اتحاده مع الهيموجلوبين تكون 200 – 300 مرة أسرع من اتحاد الأوكسجين مع الهيموجلوبين. و يسبب الوفاة إذا زاد تركيزه عن 700 جزء في المليون خاصة في المناطق المغلقة. و قد حدثت الكثير من حوادث التسمم بغاز أول أكسيد الكربون في دول العالم خاصة في فصل الشتاء حيث يدخل البعض أدوات التدفئة البدائية (الفحم المشتعل) داخل الغرف حيث أن الغاز ينطلق و يلوث الغرفة و قد يؤدي إلى الوفاة. كما يحدث التسمم داخل الآبار التي يوجد بداخلها مضخات ماء تستخدم الوقود. و الأنفاق تعد من المناطق المغلقة لذا من المتوقع زيادة تركيز هذا داخلها خاصة إذا لم تكن التهوية بالشكل الجيد. كما أن التدخين يعرض المدخن ومن حوله لكمية كبيرة من غاز أول أكسيد الكربون حيث كلما كان التدخين في مناطق مغلقة داخل المباني والغرف كلما زاد خطره (**أنظر تفصيل أكثر في صفحات تالية**).

2- أكاسيد الكبريت و تشمل غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)) و ثالث أكسيد الكبريت (SO_3).

Sulfur Dioxide (SO_2) and Sulfur Trioxide (SO_3)

و تعتمد كميات انبعاثها من المصادر على نسبة الكبريت في الوقود المستخدم. و يعتبر ثاني أكسيد الكبريت من الملوثات الهوائية الخطرة فهو غاز غير قابل للاشتعال وعديم اللون ويؤثر على حس الذوق إذا وصل تركيزه إلى 0.3 جزء في المليون. ونشعر برائحته الحادة إذا وصل تركيزه 3 أجزاء في المليون ويمكن أن يتأكسد في الجو وينتج ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) والذي يتفاعل مع بخار الماء الموجود في الهواء ويكون حمض الكبريتيك (H_2SO_4). كما أن ثاني أكسيد الكبريت والأحماض التي تتكون بسببه تزيد من تأكل المعادن. و يدخل ثاني أكسيد الكبريت إلى الجسم عن طريق جهاز التنفس فيؤثر على الجهاز التنفسي للإنسان والحيوان إذ يعمل على التخريش الشديد على للأغشية المخاطية مسبباُ السعال الجاف والألم الصدري والتهاب القصبات الهوائية وضيقاُ في التنفس. كما تسبب التركيز العالية

لهذا الغاز تشنج للحبال الصوتية الذي يؤدي إلى تشنج فجائي واختناق.
والتعرض الطويل لتراكيز ولو منخفضة لغاز ثاني أكسيد الكبريت يسبب ضعف لحاستي الذوق (الطعم) والشم كما يسبب التهاب للقصبات الهوائية المزمن والتصلب الرئوي والأطفال هم أكثر تأثرا بهذا الغاز بصفة خاصة وبقية الملوثات الهوائية بصفة عامة. كما أنه يعيق عملية التنظيف التي تقوم بها الشعيرات الهوائية التي تبطن الجهاز التنفسي كما أنه يهيج الغشاء المخاطي للعيون ويهيج الجلد. وأغلب تأثيراته لها صفة الديمومة وقليلاُ ما يؤثر فيها العلاج (العودات و باصهي 1993م). هذا بالإضافة إلى تأثيراته السلبية على النباتات و المباني (**<u>أنظر تفصيل أكثر في صفحات تالية</u>**).

3- أكاسيد النتروجين (أكسيد النتريك و ثاني أكسيد النيتروجين) $NO\&NO_2$

Nitric Oxide (NO) & Nitrogen Dioxide (NO_2)

تتكون أكاسيد النيتروجين عند درجات حرارة عالية (أكثر من 1000 م) أثناء الاحتراق داخل المحرك لذا فإن السيارات هي اكبر مصدر لهذه الملوثات.أكاسيد النيتروجين تسبب إثارة الجهاز التنفس للإنسان و عموما مهيجة للأنسجة الحية إذا ما استنشقها الإنسان إذ يمتص الجسم حوالي 60 % منها. كما أنها يمكن أن تتحد مع الهيموجلوبين في الدم حين استنشاقها و تمنع نقل الأوكسجين إلى الخلايا و يتعرض الأطفال أكثر من غيرهم لهذا التسمم.كما أن هذه الأكاسيد تتفاعل مع بخار الماء الموجود في الهواء الجوي تكون أحماض النيتروجين الخطرة كما أن ثاني أكسيد النيتروجين في وجود أشعة الشمس و وجود الهيدروكاربونات تتفاعل و تكون غاز الأوزون و الضباب الصناعي الذي يشاهد في سماء بعض المدن المزدحمة وهذه الملوثات تهاجم الأغشية المخاطية و العيون و الجهاز التنفسي (**<u>انظر تفصيل أكثر في صفحات تالية</u>**).

4- الهيدروكربونات HC Hydro Carbons

الهيدروكربونات تنبعث من محركات السيارات و مصاف البترول و محارق النفايات الصلبة. و هي المواد التي تحتوي على الكربون و الهيدروجين و لها تأثيرات مختلفة تعتمد على نشاط

وقدرة المركب الهيدروكربوني . فكلما كانت فعالة و نشطة كلما ازدادت خطورتها .
فمجموعة الاوليفينات نشـطة جـدا في حين إن مركبـات البـنزين الحلقية ضعيفة التفاعل .كما أن هناك أنواع من الهيـدروكربونات و هي المركبـات الحلقية عديـدة النـوى تعتـبر مسـاعدة للإصـابة بالســـرطان مثل مـــركب البنزوبـــيرين إضـــافة إلى دورها في التفاعلات الضوء كيميائية (**انظر تفصيل أكـثر في صـفحات تالية**).

5- الجسيمات أو الجزيئات Particulates

و هي الجسـيمات الـتي تنبعث من عـوادم السـيارات نتيجة احتراق الوقود و هناك العديد من الجسيمات التي لها آثـار صـحية سيئة منها الرصاص و هو المادة التي تضـاف للبـنزين للمسـاعدة في عملية الاحتراق .و انطلاق هذه المـواد في الجو يسـبب بعض المشاكل الصحية مثل نقص الكريات الدموية في جسم الإنســان .و ترسب الرصاص في الجسم يؤدي إلى إرباك الجهاز العصبي و يؤثر على الأطفال بشكل خـاص فهو يضـعف الـذكاء و يـؤثر على الحالة العقلية و يســبب التخلف العقلي (**انظر تفصــيل أكـثر في صفحات تالية**).

وسائل النقل وتلوث الهواء
Transportation and Air Pollution

إن وسائل النقل بأشكالها المختلفة (سيارات ، شاحنات ، طائرات ، قطارات ، دراجات نارية ، سفن وقوارب) لها دور كبير في تلوث الهواء . فهي تصدر أكثر من 70% من أول أكسيد الكربون (CO) ، وأكثر من 35% من أكاسيد النيتروجين (NO_x) والهيدروكربونات هذا بالإضافة إلى نسب أقل من ثاني أكسيد الكبريت ((SO_2 (حسب نسبة الكبريت في الوقود) والجسيمات من رصاص وغيره .
والسيارات لها الدور الأكبر بالنسبة لوسائل النقل المختلفة فيما يتعلق بتلوث الهواء وذلك لانتشارها وتحركها داخل المدن والمناطق السكنية في كل زمان .

كل واحد منا يشعر بارتباطه الشديد بسيراته التي تشعره بالحرية في الحركة والانتقال إلى أي مكان براحة ويسر وحرية تامة .
وكل واحد منا يعتقد أن سيارته تطلق كمية قليلة جدا من

الملوثات وبالتالي لن تكون سيارته هي المسؤولة عن تلوث الهواء أو البيئة .
لكن اجتماع جميع السيارات في العالم ما يزيد عن 300 مليون سيارة تقريبا سوف يطلق كميات كبيرة من الملوثات والضوضاء ، فضلا أن صناعة السيارات تمثل10% من مجمل الصناعات في الدول الصناعية (Nevers , 19995)

إذن نظرا للانتشار الواسع لوسائل النقل وبالذات السيارات نستطيع القول بأن تلوث الهواء عامة يرتبط بوسائل النقل وعلى وجه الخصوص بالسيارات التي تستخدم البنزين المضاف إليه الرصاص .

الملوثات المنبعثة من المركبات Air Pollutants from Automobiles

كما ذكرنا آنفا أن المركبات تعد من المصادر الرئيسية لتلوث الهواء داخل المدن ففي مدينة جدة نجد أن المركبات هي المصدر الرئيس لغاز أول أكسيد الكربون فما يزيد عن 97% من الغاز المنبعث للجو من المصادر المختلفة يكون من المركبات ، كذلك أن المركبات تعد مصدر رئيس للهيدروكربونات87% ، كما أنها مصدر رئيس كذلك لأكاسيد النتروجين (36 %) ، ونسبة 8-10 % من الجسيمات المنبعثة من المصادر المختلفة تكون من المركبات خاصة جسيمات الرصاص . والمركبات تشارك كذلك بإطلاق كميات من أكاسيد الكبريت وهذه الكمية تعتمد على نسبة الكبريت في الوقود .

تلوث الهواء وعملية الإحتراق داخل المحرك. Air Pollution and Combustion Inside the Engine

نجد أن نواتج الاحتراق الكامل ثاني أكسيد الكربون وماء وهي نواتج ليس لها رائحة أو لون.
ولكن عملية الاحتراق في الغالب تنتج العديد من المواد الأخرى المختلفة والتي تسمى الملوثات . وهذه الملوثات يمكن أن تكون أول أكسيد الكربون ، أكاسيد الكبريت ، أكاسيد النتروجين ، الدخان ، الرماد المتطاير ، المعادن ، أكاسيد المعادن ، الهيدروكربونات ، والأحماض .

وفي المحرك داخل المركبات تحدث عملية الاحتراق ويكون من الصعب الوصول إلى احتراق كامل ، لذا نجد أن المحركات داخل المركبات تبعث بالملوثات المختلفة .

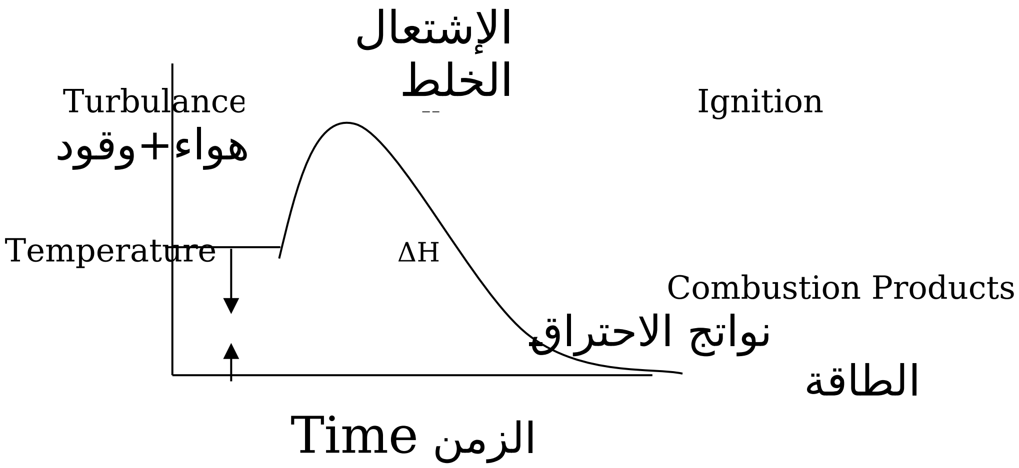
عمليات الاحتراق في الغالب لا تكون كاملة لذلك نجد أن نواتج الاحتراق تحتوي على الملوثات . لمعرفة وفهم لماذا التفاعل أو الاحتراق لا يكون كاملا أو يصل إلى الكمال نحتاج إلى معرفة ظروف اتزان التفاعلات والتي تعتمد على نسبة الخلط .
نسبة الخلط = نسبة الهواء إلى الوقود (كتلة الهواء / كتلة الوقود) .

لمعرفة كيفية نشوء التلوث علينا فهم عملية الاحتراق داخل المحرك وتتبع مسار الهواء النقي الذي سيمتزج مع الوقود وما فيه من محسنات منذ لحظة دخوله إلى اسطوانة المحرك حتى خروجه من العادم كغازات ملوثة للبيئة .
الاحتراق هو عملية كيميائية أو تفاعل كيميائي يعرف بالأكسدة السريعة للمادة مع الأكسجين وانطلاق أو صدور الضوضاء والحرارة .
ويمكن تبسيط الاحتراق بالمعادلة التالية :

$$CO + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

كما أنه يتحكم في عملية الاحتراق داخل المحرك ثلاث عوامل هي :
الوقت (مدة الاحتراق) ، درجة الحرارة والتهوية .



والاحتراق داخل المحرك يتحكم فيه نسبة خلط الهواء والوقود والنسبة المثالية للاحتراق هي 15 – 1 للهواء والوقود وهذه نسبة الاحتراق الكامل داخل المحرك . لكن هذه النسبة لا تكون ثابتة بل تتغير وبالتالي تحدث عملية الاحتراق غير الكامل ومعظم الملوثات التي تخرج من العادم تكون نتيجة عملية الاحتراق الغير كامل .

$$C_8H_{18} + 12.5\ (O_2 + 3.79\ N_2) \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O\ \ 47\ N_2$$

Air /fuel = 1 mole of fuel /59.5 mole of air

114 / 1666 = 1 / 15

وبعد اشتعال الوقود بواسطة شرارة البوجي فستتولد عن ذلك درجة حرارة عالية جدا قد تصل إلى أكثر من 2000 م مما يتسبب عنه أحداث تفاعلات كيميائية غير طبيعية ومنها التفاعل الذي يحدث فيما بين الأكسجين الجوي والنتروجين فينتج أول اكسيد النتروجين (NO) وهذا الغاز يمر من غرفة الاحتراق إلى الخارج عن طريق العادم فيبرد عند ملامسته للهواء الخارجي وبعدها يتحد مع كمية أخرى من الأكسجين ليكون ثاني أكسيد النتروجين وعلى أي حال يمكن القول بأنه من ضمن نواتج الاحتراق غير الكاملة مزيج من أكاسيد النتروجين وكميات قليلة من أكاسيد الكبريت وأهمها ثاني أكسيد الكبريت الذي يتكون في الغالب من تأكسد الكبريت الموجود مع البنزين نتيجة لعدم التنقية والتكرير الكامل للزيت الخام .

أما الجسيمات مثل كمية الرصاص العالية التي تنبعث من عادم محرك البنزين فيرجع السبب فيها لاحتراق وتكسير رابع إيثيل الرصاص الذذي يضاف كمحسن للوقود لمنع الفرقعة داخل المحرك .

وفي أحد التقديرات قبل استخدام الوقودالخالي من الرصاص وجد أن حوالي 250 ألف طنا من الرصاص تمر سنويا إلى هواء بريطانيا كتلوث سام للبيئة من احتراق البنزين في المحركات فكيف بناء هنا الآن وأعداد السيارات تزداد يوميا وبكثافة عالية ولا يعرف لها مثيل بدون مراقبة وصيانة شاملة لجميع السيارات ولا شك أن المخلفات الغازية المنطلقة نم العادم ستكون باستمرار في زيادة ما لم توضع قواعد رئيسية لصيانة المحرك أو حتى فحصه فحصا دقيقا على فترات زمنية معينة .

بجانب الرصاص فإن هناك أيضا العديد من المحسنات التي تضاف إلى البنزين ومن بينها المركبات العضوية التي تضاف لتمنع الصدأ والتجمد في داخل المحرك ، والمركبات المانعة لتأكسد المعادن وبعض الأصباغ لتحديد درجة نقاء البنزين .
كما أن التضاريس تلعب دورا في زيادة التلوث فالسيارات التي تسير في السهول والأراضي المنبسطة تكون أقل تلوثا عن غيرها التي تسير في الهضاب والمرتفعات .

العوامل التي تتوقف عليها كميات الملوثات المنبعثة من المحرك .

إن كمية ونوعية الملوثات التي تطلقها عوادم السيارات سواء المحرك " البنزين أو الديزل " تتوقف على العديد من العوامل والتي يمكن إجمال أهمها فيما يلي :
1ـ شكل المحرك وحجمه .
2ـ تركيب الوقود المستخدم فيه .
3 ـ الطريقة التي يدار فيها المحرك (تباطؤ ـ إسراع ـ حالة سفرية مستمرة)
4ـ التضاريس البيئية المختلفة .
5 ـ صيانة المحرك ونظافته .

جدول (1) كمية الملوثات المنبعثة من العادم حسب وضع حركة المحرك

الملوث	حالة السكون	التسارع	حالة السير بسرعات منتظمة وعالية	التباطؤ
أول أكسيد الكربون نسبة %	**4-9**	**0-8**	**1-7**	**2-9**
الهيدروكربونات (جزء بالمليون)	**500-1000**	**50-800**	**200 - 800**	**3000-12000**
أكاسيد النتروجين (جزء في المليون)	**100-50**	**100-4000**	**1000-3000**	**5-50**

المصدر : (Seinfeld, 1986)
الجدول (1) يبين الاختلاف في مقدار كمية الملوثات المنبعثة من المركبات تحت الظروف الحركية المختلفة لمحرك البنزين .
فيلاحظ من الجدول أن نسبة أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات تكون في أقصاها عند تخفيف السرعة (حالة

التباطؤ) أو عند بداية التشغيل عندما لا يدور المحرك على النحو الكامل للطاقة (حالة السكون) بحيث تفقد ولا تستخدم في إدارة المحرك بكفاءة تامة . بينما تنخفض نسبة التلوث بهما عند السرعة المقبولة والسير المنتظم في خطوط السير السفرية الطويلة وعلى النقيض من ذلك فيزداد أول أكسيد النتروجين والرصاص في حالة السرعة العظمى نتيجة لارتفاع درجات حرارة الاشتعال فيما يتناقص عند التخفيف منها .

الوسائل والطرق للتقليل من ابنعاث الملوثات من المركبات :

هناك طرق اساسية لتقليل ابنعاث الملوثات من المركبات :

1 ـ تطوير نظام التشغيل وذلك بتطوير عملية الاحتراق الداخلي للمحرك وقد يكون ذلك بتطوير نسبة الخلط بين الهواء والوقود ووقت الاشتعال .

2 ـ تطوير تصميم المحرك في شكله وحجمه .

3 ـ تطوير نوعية الوقود المحترق وخلوه

4 ـ معالجة غاز العادم باستخدام بعض الوسائل الكيميائية للتقليل من الملوثات المنبعثة أو تحويلها إلى مواد غير خطرة أو قليلة الخطر على أقل تقدير .

5 ـ الفحص الدوري للمركبات .

6 ـ التوعية بأهمية القيــادة الواعية والمتزنة الــتي تــؤدي إلى التقليل من كمية الملوثات المنبعثة من المركبات .

6- الملوثـــــــــــــات الثانوية Secondary Pollutants

وهي الملوثات التي تتكون في الجو نتيجة تفاعل الملوثات الأولية (المنبعثة من المصــادر مباشــرة) في الجو وعند تــوفر الظــروف الملائمة لهذه التفاعلات.

التفاعلات الكيماوية في الجو Chemical Reactions in the Atmosphere

و يقصد بهذه التفاعلات جميع التفاعلات التي تحدث في الجو حيث تتفاعل الملوثات المواد الموجودة في الجو مع بعضها حين تتوفر ظروف جوية معينة وينتج عن هذه التفاعلات ملوثات ثانوية مثل الأحماض وغيرها وقد تكون هذه الملوثات أشد خطورة من الملوثات لأولية التي تنبعث من المصادر مباشرة. و هذه التفاعلات تحدث في النهار و الليل.

$$NO + NO_2 + H_2O \longrightarrow 2\,HNO_2$$

$$N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3$$

$$SO_2 + O_2 \longrightarrow 2\,SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO$$

التفاعلات الضوكيماوية Photochemical Reactions

التفاعلات الضوكيماوية يقصد بها التفاعلات التي تحدث للملوثات الأولية في الجو أو الغلاف الجوي وذلك في وجود أشعة الشمس.
إذن فإن هذه التفاعلات لا تحدث إلا في النهار.
تبدأ التفاعلات الضوكيماوية بامتصاص فوتون من قبل الذرة أو الجزيء أو الجذر الحر أو الأيونات.
نتيجة هذا الامتصاص يعتمد على الطاقة وبالتالي على الطول الموجي للفوتون الممتص.
و الأشعة التي تبدأ بها التفاعلات الضوكيماوية هي الأشعة التي تكون في مجال الرؤية و فوق البنفسجية.
إن امتصاص الفوتون يؤدي إلى تفكك أو إثارة للمادة التي تمتصه والذي يهمنا هنا هو تفكك الجزيئات حين امتصاصها للفوتونات.
التأثير الأولي لامتصاص الفوتون وتفكك الجزيء يسمى التفاعل الضوكيماوي الأولي و التفاعلات التي تعقب ذلك التفكك تسمى تفاعلات ثانوية.
يمكن تلخيص التفاعلات الضوكيماوية كالتالي:

$$A + h\nu \longrightarrow A$$

حيث أن عنصر A يمتص الطاقة الشمسية $h\nu$ فيثار أو يتفكك.

$$A \longrightarrow B + C$$

فالتفكك ل A يكون إلى عنصرين B & C.

عدد التفاعلات الضوكيماوية التي تحدث في الجو تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي وذلك التفاعل بالتحديد يعتمد على طاقة وطول الموجة للفوتون الممتص.

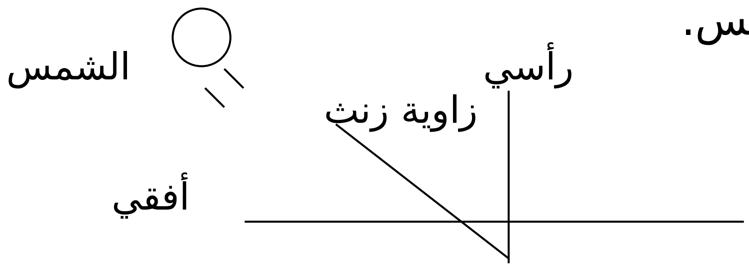
$$E = h\nu$$
$$C = \lambda\nu$$
$$E = hc/\lambda$$

حيث E الطاقة، h ثابت، ν التردد، c سرعة الضوء، λ طول الموجة.

شدة الإشعاع الشمسي عبارة عن دالة لخطوط الطول والوقت خلال السنة واليوم وشدة الغيوم وكمية الملوثات في الجو واستقرارية الظروف الجوية.

زاوية زنث Zenith Angle.

وهي الزاوي التي تقع بين الخط الأفقي والخط الرأسي بالنسبة لحركة الشمس.



أهم التفاعلات الضوكيماوية التي تحدث عند سطح الأرض في أسفل طبقة التروبوسفير هي:

تفكك غاز ثاني أكسيد النتروجين "NO_2" نتيجة امتصاصه لاشعة الشمس (للفوتونات).

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$$

O عبارة عن أوكسجين ذري (جذر حر) Free radical نشط جدا.

والطول الموجي (λ) للأشعة تقريبا 0.4 مايكرو متر (0.4 µm).

الأوكسجين الذري (O) المتكون من التفاعل والنشط جدا يتفاعل مع الأوكسجين الموجود في الجو ويكون الأوزون في وجود جسم ثالث (M)لامتصاص الطاقة الزائدة لمنع تفكك الأوزون بسرعة في نفس التفاعل.

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

ثم أن الأوزون يتفاعل مع أكسيد النتروجين (NO) وينتج ثاني أكسيد النتروجين (NO_2) كالتالي:

$O_3 + NO \longrightarrow NO_2 + O_2$

و هذه التفاعلات الثلاث تمثل الدورة الأساسية للتفاعلات الضوء كيماوية.

7- **الأوزون** OZONE (O_3)

الأوزون ملوث ثـانوي لا ينتج من المصـادر الأولية مباشـرة لكنه يتكون في الجو نتيجة التفاعلات الضوء كيميائية و يعتبر ملـوث له آثار صحية سيئة عند سطح الأرض على عكس دوره في طبقــات الجو العليا.

عند سطح الأرض يتكون في الجو عندما يتحلل غـاز ثـاني أكسـيد النتروجين في وجود أشعة الشمس حسب المعادلة التالية:

$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O$$

و الأكسجين الذري الذي تكون من التحلل يتفاعل مع الأوكسجين الجوي في وجود جسم ثـالث لامتصـاص الطاقة الزائـدة و يكـون الأوزون

$$O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$$

وحيث أن تكـون الأوزون يتطلب وجـود أشـعة الشـمس و الـدول العربية تتصف بأيامها المشرقة معظم أيام السنة فالمتوقع تكون الأوزون معظم الأيام خاصة و أن المواد الأساسية لتكون الأوزون (أكاسيد النـتروجين) متـوفرة فالسـيارات من المصـادر الرئيسـية لها.

ويجب هنا أن ننبه إلى قضية التفريق بين وجــود غــاز الأوزون في طبقــات الجو العليا و عند ســطح الأرض فهو في طبقــات الجو العليا يمتص الأشـعة فـوق البنفسـجية القصـيرة الموجة و يحمي بإذن الله الأرض من أضرارها فهي من مسببات مرض السرطان و إعتام عدسة العين بالإضـافة إلى زيـادة تسـخين سـطح الأرض الـذي يـترتب عليه الكثـير من المشـاكل. أما الأوزون عند سـطح الأرض فله أضـرار صـحية كبـيرة فهو غـاز مهيج للجهـاز التنفسي كما أنه يهيج العين كما أنه ضــار للنبــات و يتســبب في تشــقق المطــاط و من الملاحظ أن اســتهلاك إطــارات الســيارات في الـدول العربية كثـير و قد يكـون من ضـمن الأسـباب ،و الـتي قد تكون كثيرة، هو وجــود غــاز الأوزون (**<u>انظر تفصيل أكـثر في صفحات تالية</u>**).

التداؤب .SYNERGISM

و المشاكل الصحية التي تحدث نتيجة تلوث الهواء تكون معقدة و متداخلة و ذلك بسبب ما يسمى التعاون أو التداؤب SYNERGISM و هو اشتراك أكثر من مادة لأحداث أثر معين يكون أكثر ضررا من ضرر كل واحدة على حده.
فعند استنشاق الهواء الملوث يتنفس الإنسان جميع هذه الملوثات دفعة واحدة لذلك يكون الأثر معقد و مضاعف.

التفاعلات الضؤكيميائية وتكون الجذور الحرة والأكاسيد والضباب الصناعي.

Photochemical Reaction and Free Radical Formation, Oxidants and Photochemical Smog

عند حدوث التفاعلات الضوء كيماوية تنتج الجذور الحرة وهذه الجذور كما ذكر سابقا نشطة جدا وتدخل في كثير من التفاعلات وتسرع كثير من التفاعلات المؤكسدة والتي تنتج الأحماض.

$$O + NO_2 \longrightarrow NO_3$$
$$NO_2 + NO_3 \longrightarrow N_2O_5$$
$$N_2O_5 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3$$
$$O + SO_2 \longrightarrow SO_3$$
$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

والنقطة في آخر الرمز تعني الجذر الحر.
و يمكن أن تتكون جذور حرة (Free radicals) كثيرة تعقد التفاعلات أكثر.

$$O + H_2O \longrightarrow 2OH$$
$$CO + OH \longrightarrow CO_2 + H$$
$$H + O_2 + M \longrightarrow HO_2 + M$$
$$HO_2 + NO \longrightarrow NO_2 + OH$$
$$OH + SO_2 + M \longrightarrow HOSO_2 + M$$
$$HOSO_2 + O_2 \longrightarrow HO_2 + SO_3$$
$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

دور الهيدروكربونات في التفاعلات الضوء كيماوية وتكون الضباب الصناعي.

وجود الهيدروكربونات يعقد التفاعلات أكثر وينتج كميات كبيرة من الجذور الحرة وبالتالي تتكون مواد أشد خطورة وضرارا مثل بيروكسي استايل نايترات Peroxyacetyl Nitrate (PAN) والذي يكون الضباب الصناعي (SMOGE) والمعروفة به مدينة لوس أنجلوس.

$HCHO + h\nu \rightarrow H + HCO$

$H + CO$

$HCHO + OH \rightarrow HCO + H_2O$

$HCO + O_2 \rightarrow HO_2 + CO$

$HCHO + h\nu \rightarrow 2HO_2 + CO$

$HCHO + h\nu \rightarrow H_2 + CO$

$HCHO + OH \rightarrow HO_2 + CO + H_2O$

$HO_2 + NO \rightarrow NO_2 + OH$

$OH + NO_2 \rightarrow HNO_3$

$CH_4 + OH \rightarrow CH_3 + H_2O$

$CH_3 + O_2 + M \rightarrow CH_3O_2 + M$

$CH_3O_2 + O_2 \rightarrow HCHO + HO_2$

$CH_3O_2 + HO_2 \rightarrow CH_3OOH + O_2$

$CH_3CHO + OH \rightarrow CH_3C(O) + H_2O$

$CH_3CHO + OH + O_2 \rightarrow CH_3C(O)O_2 + H_2O$

$CHC(O)O_2 + NO_2 \rightarrow$ **$CH_3C(O)O_2NO_2$**

و هذا العنصر الأخير هو الذي يكون الضباب الصناعي المسمى ضبخان (Smog).